



## Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

**Aktenzeichen:** 102 33 777.2

**Anmeldetag:** 25. Juli 2002

**Anmelder/Inhaber:** Carl Zeiss SMT AG, Oberkochen/DE  
(vormals: Carl Zeiss Semiconductor Manufacturing Technologies AG)

**Bezeichnung:** Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von optischen Elementen mit wenigstens einer gekrümmten Oberfläche

**IPC:** C 03 B 33/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 9. April 2003  
**Deutsches Patent- und Markenamt**  
Der Präsident  
Im Auftrag

Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von optischen Elementen mit wenigstens einer gekrümmten Oberfläche

5

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Herstellen von optischen Elementen mit wenigstens einer gekrümmten Oberfläche durch sphärisches Trennen.

10 Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zum Herstellen von optischen Elementen mit wenigstens einer gekrümmten Oberfläche durch sphärisches Trennen mit einem kalottenartigen Trennkörper.

• Allgemein bekannt ist die Herstellung von Linsen, die aus planparallelen Scheiben ausgesägt werden oder die als erweichte Glastropfen in eine Form gepresst werden, wobei die Form der Rohgestalt oder Fertiggestalt der fertigen Linse entspricht. Nach dem Erkalten des Glastropfens in der Form sind  
20 entweder keine oder nur die üblichen feinoptischen Oberflächenbearbeitungen erforderlich.

Bei der Herstellung von Halbleiterelementen in Projektionsbelichtungsanlagen mit Projektionsobjektiven müssen aufgrund der  
25 immer kürzer werdenden Wellenlängen Linsen aus Quarzglas oder Kristall verwendet werden, wie z.B. Kalziumfluorid. Die Eigenschaft von Quarzglas besteht darin, dass sich dieses nicht ohne Qualitätsverlust bezüglich Homogenität und Transmission auf eine gewünschte Geometrie umformen lässt, die dicht an der  
30 endgültigen Linse liegt. Die Kristalle lassen sich grundsätzlich nicht umformen.

Die Herstellung einer Linse aus einer Scheibe als Rohling mit den darin einzuformenden gekrümmten Flächen ist sehr aufwendig  
35 und kostspielig.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu schaffen, wobei optische

Elemente mit wenigstens einer gekrümmten Oberfläche, wie z.B. Linsen, insbesondere Linsen aus Quarzglas oder Kristallen, auf einfache und kostensparende Weise hergestellt werden können. Dabei sollen auch die bei einer Bearbeitung von Kristallen auftretenden Probleme, wie z.B. Empfindlichkeit gegen Schwingungsenergien und thermische Belastungen, die zu einer Zerstörung des Kristalles führen können, berücksichtigt werden.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch sphärische Trennverfahren mit einem kalottenartigen Trennkörper gelöst, wobei der Trennkörper durch einen Grundkörper oder der Grundkörper durch den Trennkörper in einer Schwenkbewegung bewegt wird, während gleichzeitig eine relative Rotationsbewegung mit einer Drehachse, die durch den Mittelpunkt M der Schwenkbewegung verläuft, zwischen dem Grundkörper und dem Trennkörper stattfindet.

Eine erfindungsgemäße Vorrichtung zum Herstellen eines optischen Elementes mit wenigstens einer gekrümmten Oberfläche aus einem Grundblock ist mit einem kalottenartigen Trennkörper mit Schneidelementen versehen, wobei der Trennkörper oder der Grundkörper um eine Schwenkachse mit einer Krümmung um einen Schwenkmittelpunkt M schwenkbar ist, die der Krümmung des in den Grundblock einzubringenden Trennschnitts entspricht, und wobei der Grundkörper in einer Aufnahme aufgenommen ist.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren und der Vorrichtung hierzu wird durch den kalottenartigen Trennkörper in einem Arbeitsgang die Rohform eines optischen Elementes mit der gewünschten gekrümmten Oberfläche herausgetrennt. Die Trennung kann dabei auf eine schonende Weise erfolgen, so dass nachteilige Auswirkungen auf Linsen aus Kristallen vermieden werden und diese somit nicht beschädigt oder zerstört werden.

Eine sehr vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung besteht darin, dass aus dem Grundkörper wenigstens zwei optische Rohlinge für das optische Element derart aus dem Grundkörper herausgetrennt werden, dass durch einen einzigen Trennschnitt

gleichzeitig eine Konkavseite eines ersten optischen Elementes und eine Konvexseite eines zweiten optischen Elementes gebildet wird.

5 Mit dieser erfindungsgemäßen Weiterbildung lassen sich in einem Arbeitsgang z.B. zwei Rohformen von Linsen herstellen, was nicht nur optisches Material, sondern auch Kosten und Zeit einspart.

10 Insbesondere beim sphärischen Trennen von Kalziumfluorid ist ein besonders verlustarmes und schwingungsarmes sphärisches Trennen erforderlich, da Kalziumfluorid extrem teuer und mechanisch hochempfindlich ist.

15 Als Alternative zu einem kalottenartigen Trennkörper, der im wesentlichen wenigstens annähernd die Form einer Glocke besitzt, kann in einer Ausgestaltung der Erfindung vorgesehen sein, dass der Trennkörper eine Teilkugelschale aufweist, die im Bereich der Schwenkachse des Trennkörpers mit einer Bohrung  
20 versehen ist, in der der Grundkörper mit seinen Aufnahme aufnehmbar ist, und dass die Teilkugelschale an ihrer äußeren Umfangswand über eine Halteeinrichtung an dem Trennkörper gehalten ist, wobei die Schneidelemente am Innenumfang der Teilkugelschale angeordnet sind.

25

Bei dieser Ausgestaltung besitzt der Trennkörper in seiner Mitte eine große zentrale Öffnung. In diese Öffnung taucht der Grundkörper als das zu bearbeitende optische Element ein. Bei der Schwenkbewegung des Trennkörpers oder auch des optischen  
30 Elementes erfolgt dann der Trennschnitt.

Praktisch stellt diese Trennkörperform einen sphärisch gekrümmten Ring dar, der außenseitig über die Halteeinrichtung abgestützt wird.

35

Bei dieser Ausgestaltung der Erfindung kann der Trennkörper an seinem äußeren Umfang sehr steif ausgebildet sein, z.B. in Form eines zylindrischen Gehäuses.

Zusätzlich oder alternativ kann der Trennkörper an seiner äußeren Umfangswand gehalten werden bzw. sich an einem festen Maschinenteil über ein dazwischen liegendes Drehlager abstützen.

Durch diese Ausgestaltung kann der Trennkörper wesentlich steifer ausgestaltet werden und höherer Kräfte aufnehmen bzw. übertragen, die über die Schneidelemente eingeleitet werden.

Darüber hinaus ist die Gefahr von Schwingungen deutlich niedriger und auch auftretende Schwingungen werden erheblich schneller abgebaut.

Zusätzlich kann die Teilkugelschale in Form des sphärisch gekrümmten Ringes entsprechend auch mit Dämpfungsgliedern versehen werden, welche auch einzeln gesteuert oder geregelt verschiebbar sein können.

Zur Vermeidung von schädlichen Schwingungen und thermischen Belastungen wird man den Trennkörper, insbesondere bei einer Ausgestaltung in Glockenform, entsprechend ausbilden, wie z.B. mit einem schwingungsdämpfenden Aufbau, einer Zweiteilung, einer Anordnung von Vertiefungen in der Oberfläche des Trennkörpers, insbesondere von unregelmäßigen Vertiefungen, wie z.B. Rillen, einer trapezartigen oder keilförmigen Form der Schneidelemente und/oder deren unregelmäßige Anordnung an dem Trennkörper, Kühlkanälen mit Zwangskühlung und ähnlichem.

Vorteilhafte Weiterbildungen und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den übrigen Unteransprüchen und aus den nachfolgend anhand der Zeichnung prinzipmäßig beschriebenen Ausführungsbeispiel.

Es zeigt:

Figur 1 eine Prinzipdarstellung einer Vorrichtung zum Herstellen einer Linse aus einem Grundkörper;

- Figur 2 einen Schnitt durch einen kalottenartigen Trennkörper;
- 5 Figur 3 eine Prinzipdarstellung der Herstellung von zwei optischen Rohlingen aus einem Grundkörper;
- Figur 4 eine Draufsicht auf eine Ausgestaltung eines kalottenartigen Trennkörpers;
- 10 Figur 5 ausschnittsweise einen Teil der Abwicklung der Umfangswand eines Trennkörpers;
- Figur 6a ausschnittsweise jeweils einen Umfangsabschnitt  
und 6b eines Trennkörpers in anderen Ausgestaltungen;
- Figur 7 eine Ausgestaltung eines Trennkörpers mit einer Teilkugelschale in Form eines sphärisch gekrümmten Ringes;
- 20 Figur 8 eine vergrößerte Darstellung des Ausführungsbeispiels nach der Figur 4 mit einem Teil des sphärisch gekrümmten Ringes und der Befestigung an dem Trennkörper;
- 25 Figur 9 die Teilkugelschale mit integrierten Dämpfungsgliedern;
- Figur 10 eine Teilkugelschale in Form eines sphärisch gekrümmten Ringes in normaler Ausgestaltung;
- 30 Figur 11 eine Teilkugelschale mit an den Seitenflächen angeordneten Dämpfungsgliedern;
- 35 Figur 12 den unteren Bereich eines Trennkörpers mit der Teilkugelschale und mit verschieblichen Dämpfungsgliedern;

Figur 13 die Draufsicht auf den Trennkörper mit den verschieblichen Dämpfungsgliedern nach Figur 12;

Figur 14 ausschnittsweise eine Prinzipdarstellung einer Vorrichtung zum Herstellen einer Linse aus einem Grundkörper mit dem in Figur 7 dargestellten Trennkörper; und

Figur 15 eine Prinzipdarstellung bezüglich der Dreh- und Schwenkbewegungen nebst Schnittkurve des Trennkörpers und des Grundkörpers.

Ein kalottenartiger Trennkörper 1 ist in nicht näher dargestellter Weise mit einer Drehantriebseinrichtung 2 verbunden.

Die Drehantriebseinrichtung 2 ist in nicht näher dargestellter Weise auf einem Schwenkglied 3 angeordnet oder mit diesem verbunden. Das Schwenkglied 3 führt zusammen mit der Drehantriebseinrichtung 2 eine Schwenkbewegung in Pfeilrichtung 4 um einen Schwenkmittelpunkt M. Das Schwenkglied 3 ist zusammen mit der Drehantriebseinrichtung 2 fest entlang der Schwenkachse 5 um den Schwenkmittelpunkt M gemäß Pfeilrichtung 6 verschiebbar. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Schwenkradien einstellen. Zu beachten ist jedoch, dass der Radius der Kalotte des Trennkörpers 1 jeweils dem Schwenkradius entsprechend muss. Dies bedeutet, der Trennkörper 1 muss entsprechend ausgetauscht bzw. jeweils angepasst werden. In der Figur 1 ist zusätzlich gestrichelt die Lage eines Trennkörpers mit seiner Drehantriebseinrichtung für die Durchführung eines Trennschnittes an einem kleineren Rohling 7' angedeutet.

Der in einen Grundkörper 7 einzubringende Trennschnitt, der der Krümmung der aus dem Grundkörper 7 zu bildenden Linsen entspricht, muss ebenfalls dem Schwenkradius um den Schwenkmittelpunkt M entsprechen. Der Grundkörper 7 ist beidseitig zwischen zwei Aufnahmen 8 und 9 gehalten. Dies kann z.B. hydraulisch, pneumatisch oder durch mechanische Mittel erfolgen. In bevorzugter Weise wird man hierfür eine Vakuumeinrichtung verwenden, um während eines Trennschnittes axiale Zugkräfte

auf den zu trennenden Grundkörper 7 ausüben zu können, damit es nicht zu einer Klemmung im Trennspalt während des Trennschnittes kommt. Der Trennkörper 1 rotiert in Pfeilrichtung 10 um die Schwenkachse 5. Gleichzeitig rotiert ebenfalls der Grundkörper 7 in Pfeilrichtung 11 um eine Drehachse 12, die durch den Schwenkmittelpunkt M geht. Die Aufnahme 9 ist auf einer Antriebseinrichtung 13 (nicht näher dargestellt) angeordnet, durch die eine Verschiebung in Pfeilrichtung 14 entlang der Achse 12 möglich ist. Die Aufnahme 8 besitzt eine Mitläuferantriebseinrichtung 15, durch die ebenfalls eine Verschiebung der Aufnahme 8 in Pfeilrichtung 14 möglich ist.

Zur Herstellung von zwei Linsenrohlingen 16 und 17 aus dem Grundkörper 7, wobei ein Rohling eine Konkavform und der zweite Rohling eine Konvexform aufweist (siehe Figur 3), wird der um die Schwenkachse 5 rotierende kalottenartige Trennkörper 1 in Pfeilrichtung 4 in den Grundkörper 7 eingeschwenkt. Dabei erzeugen die am Umfang verteilt angeordneten Schneidelemente 18 des Trennkörpers 1 einen Trennschnitt 19 entsprechend der Breite der Schneidelemente 18. Aufgrund der gleichzeitigen Rotation des Grundkörpers 7 um die Drehachse 12 ist es für eine Trennung des Grundkörpers 7 lediglich erforderlich, den Trennkörper 1 bis zur Drehachse 12 einzuführen.

Während des Trennvorganges ist dabei zu sorgen, dass durch die Aufnahmen 8 und 9 die sich ergebenden optischen Linsenrohlinge 16 und 17 ohne eine Klemmung bezüglich des Trennspaltes 19 sicher gehalten werden. Gleiches gilt nach Durchführung der Trennung. Nach Abschluss des Trennvorganges werden die beiden Aufnahmen 8, 9 oder wenigstens eine der beiden Aufnahmen zurückgefahren, um die Linsenrohlinge 16 und 17 entnehmen zu können. Durch eine entsprechende Verschiebung der Aufnahmen 8 und 9 in Pfeilrichtung 14 erfolgt eine Anpassung an unterschiedliche Dicken eines Grundkörpers 7 und an unterschiedliche Schwenkradien.

Als Antriebseinrichtungen 13 und 15 zur Verschiebung der Aufnahmen 8 und 9 sind die verschiedensten Einrichtungen möglich.



Hierzu können z.B. Spindelantriebe verwendet werden, wobei für eine Aufnahme ein Spindelantrieb vorgesehen ist, während die andere Spindel lediglich als Mitläufer fungieren und synchron mit der angetriebenen Spindel gekoppelt werden kann.

5

Bei Verwendung einer Vakuumeinrichtung für die beiden Aufnahmen 8 und 9 wird neben einer schonenden Aufnahme gleichzeitig eine leichte Zugkraft auf die beiden Rohlinge 16, 17 ausgeübt, so dass Verklemmungen vermieden werden. Gleichzeitig sind in diesem Falle beide Rohlinge 16 und 17, nachdem der Grundkörper 7 durchschnitten worden ist, jeweils sicher gehalten.

Für die verschiedenen Zustell- und Schwenkbewegungen der Drehantriebseinrichtung 2 und der Aufnahmen 8 und 9 sind beliebige bekannte Einrichtungen möglich, weshalb diese nicht näher beschrieben werden.

Wie aus der Figur 2 ersichtlich ist, weist der Trennkörper 1 eine kalottenartige Form bzw. eine dünnwandige Kugelschale auf. Zur Durchführung des Trennschnittes ist es nicht unbedingt erforderlich, dass sowohl der Trennkörper 1 als auch der Grundkörper 7 rotiert. Es ist lediglich erforderlich, dass eine relative Drehbewegung zwischen beiden Teilen besteht. Wenn nur der Trennkörper 1 rotiert, muss zur Durchführung eines Trennschnittes der Trennkörper 1 vollständig durch den Grundkörper 7 durchgeschwenkt werden.

Wenn Linsen aus kristallinem Material, z.B. aus Kalziumfluorid, sphärisch getrennt werden sollen, sollten noch verschiedene Vorkehrungen und Ausgestaltungen während des Trennschnittes getroffen werden, um zu vermeiden, dass keine schädlichen Schwingungsenergien und thermische Belastungen entstehen, die zur Zerstörung der Kristalle führen können.

Eine Möglichkeit hierfür besteht darin, dass der kalottenartige Trennkörper 1 zwei- oder dreigeteilt ist (siehe gestrichelte Linie in Figur 4). Darüber hinaus können in der Oberfläche Vertiefungen in Form von Rillen 20, vorzugsweise über den Um-

fang des Trennkörpers 1 unregelmäßig verteilt und auch unregelmäßig radial verlaufend, eingebracht werden (siehe Figur 4). Eine einteilige Kalotte kann man auch lokal z.B. in Wellenform trennen bzw. einschneiden, wie in Figur 4 in einem Bereich gezeigt. Dies verhindert das Auftreten einer einheitlichen Resonanzfrequenz der Kalotte mit hoher Amplitude. Die Rillen 20 haben eine doppelte Funktion. Zum einen zerlegen sie die Schwingungsfrequenz einer geschlossenen Scheibe bzw. Kugelschale in viele unterschiedliche Einzelfrequenzen und zum anderen kann man die Rillen 20 gleichzeitig dazu verwenden, Kühlschmiermittel von der rotierenden Achse zu den Besatz bzw. Schneidelementen 18 am Umfang zu drücken. Die Vertiefungen können den Trennkörper 1 auch vollständig durchdringen.

Bei einer Zusammensetzung des Trennkörpers 1 aus mehreren Einzelkalotten oder Einzelkalottenteilen können die Einzelteile durch teil- oder vollflächiges Kleben miteinander verbunden werden. Bei einer dickeren Klebeschicht, z.B. mit einer Füllung aus Wolframpulver, erreicht man gleichzeitig sehr gute passive Schwingungsdämpfungen. Eine andere Möglichkeit besteht darin, dass man auf der Oberfläche des Trennkörpers 1 verschieden geformte und unterschiedlich angeordnete Klebeflächen 21 vorsieht, welche ebenfalls einem Auftreten von Schwingungen entgegenwirken.

25

Die Schneidelemente 18 bzw. der Besatz sind unregelmäßig über den Umfang verteilt angeordnet. Wie aus der Figur 2 ersichtlich ist, besitzen die Schneidelemente 18 im Querschnitt gesehen eine Keil- bzw. Trapezform, wobei die Vorderseite breiter ist, wodurch ein freischneidender Trennschnitt erreicht wird. Gleichzeitig wird auf diese Weise eine Seitenreibung vermieden, was sich ebenfalls positiv auf eine geringere Wärmezeugung auswirkt.

Wie aus der Figur 5 ersichtlich ist, sind über den Umfang des Trennkörpers 1 in der Umfangswand verteilt Aussparungen oder Öffnungen 22 zwischen den Schneidelementen 18 vorgesehen, welche unterschiedliche Längen und Größen aufweisen können, damit

sie ebenfalls einem Auftreten von Schwingungen entgegenwirken. Gleichzeitig kann über diese Aussparungen bzw. Öffnungen 22 Kühlschmiermittel eingebracht werden.

5 In den Figuren 6a und 6b sind ähnliche Ausgestaltungen dargestellt. Zusätzlich ist hier jedoch der Umfangsbereich des Trennkörpers 1 wellenförmig ausgebildet, um empfindliche Kristallstrukturen stärker zu schonen. Vorzugsweise variiert die Ortsfrequenz der Welle stochastisch über den Umfang des Trennkörpers. Dies unterdrückt die Resonanzantwort für eine einzelne Frequenz im Werkstück. Gemäß Figur 6a ist eine einfache Wellenform mit Öffnungen 22 dargestellt. Auch eine gegenläufige Doppelwelle mit stochastischer Frequenzänderung, wie in Figur 6b dargestellt, ist zur Schwingungsunterdrückung sehr vorteilhaft.

In der Figur 7 ist eine Ausgestaltung des Trennkörpers 1 dargestellt, der eine Teilkugelschale 1a in Form eines sphärisch gekrümmten Ringes aufweist, welcher einen Radius mit einem Krümmungsmittelpunkt M aufweist mit einer großen Bohrung im Bereich der Schwenkachse 5. Am inneren Umfang der Teilkugelschale 1a befinden sich die Schneidelemente 18. In die Bohrung wird das herzustellende optische Element, nämlich der Grundkörper 7, eingebracht. Der Grundkörper 7 wird in gleicher Weise gelagert und gehalten wie dies in Figur 1 und nachfolgend auch in der Figur 14 dargestellt ist.

An ihrem äußeren Umfang ist die Teilkugelschale 1a mit einem zylindrischen Gehäuse 1b des Trennkörpers 1 verbunden. Vorzugsweise erfolgt dies über eine Halteeinrichtung in Form einer Spanneinrichtung 23, um eine schnelle Lösbarkeit und damit Austauschbarkeit der Teilkugelschale 1a zu erreichen. Auf diese Weise lassen sich in der gleichen Vorrichtung Grundkörper 7 mit unterschiedlichen Maßen und mit unterschiedlichen Krümmungsradien auf schnelle und einfache Weise herstellen.

In der Figur 8 ist die Spanneinrichtung 23 lediglich prinzipmäßig dargestellt. Hierfür können die verschiedensten Einrich-

tungen verwendet werden. Aus der Figur 8 sind auch Dämpfungsglieder 24 in Form von Dämpfungsringen in dem zylindrischen Gehäuse 1b des Trennkörpers 1 ersichtlich, welche auftretende Schwingungen dämpfen sollen. Die Dämpfungsringe können z.B. aus Grauguss bestehen, welche in Kautschuk geklebt sind. Auch das zylindrische Gehäuse 1b kann ein Graugusstopf bzw. -ring sein, welcher dreidimensional ausgewuchtet ist.

Beim Bearbeiten von Kristallen, wie Kalziumfluorid, Magnesiumfluorid, Lithiumfluorid oder Natriumfluorid, ist insbesondere das erste Ansetzen der Schneidelemente 18 an dem Grundkörper 7 problematisch bzw. risikoreich. Gemäß Figur 9 und 10 findet deshalb die Bearbeitung mit zwei unterschiedlichen Teilkugelschalen 1a statt.

Der erste Einschnitt wird mit einer Teilkugelschalen 1a durchgeführt, die mit einer Verdickung versehen sind, in der ein Dämpfungsglied 25 integriert ist. Auf diese Weise wird eine Schwingungsdämpfung erreicht. Der Einschnitt kann allerdings nur bis zum Beginn der Verdickung durchgeführt werden. Anschließend wird die Teilkugelschale 1a gemäß Figur 9 gegen eine Teilkugelschale gemäß Figur 10 ausgetauscht, welche über die ganze Länge dünnwandig ausgebildet ist.

Figur 11 zeigt eine ähnliche Ausgestaltung einer Teilkugelschale 1a, wie die in der Figur 9 dargestellte Teilkugelschale. In diesem Falle sind Dämpfungsglieder 25 jedoch nicht in die Teilkugelschale 1a integriert, sondern an einer gekrümmten Seite angeordnet. Im Bedarfsfalle können auch auf beiden Seiten Dämpfungsglieder vorgesehen sein, wie dies in der rechten Darstellung der Figur 11 gestrichelt angedeutet ist.

Figur 12 zeigt eine Ausgestaltung einer Teilkugelschale 1a mit Dämpfungsgliedern 25 in ähnlicher Form, wie in der Figur 11 dargestellt. Im Unterschied dazu sind die Dämpfungsglieder gemäß Figur 12 jedoch in radialer Richtung gemäß den Pfeilen 26 verschiebbar. Die Dämpfungsglieder 25 können dabei gegebenenfalls über Führungen bis zu dem zylindrischen Gehäuse 1b des

Trennkörpers 1 zurückgeschoben werden, so dass man den Schnitt in den Grundkörper 7 tiefer einbringen kann. Wenn die Dämpfungsglieder 25 vollständig eingefahren werden können, so kann mit einer einzigen Teilkugelschale 1a ein vollständiger Trennschnitt durchgeführt werden.

Selbstverständlich sollten die Dämpfungsglieder 25 auch dreidimensional ausgewuchtet sein.

10 In der Figur 13 ist eine Draufsicht auf die Teilkugelschale 1a mit den verschiebbaren Dämpfungsgliedern 25 dargestellt, welche auf Abstand voneinander über den Umfang verteilt angeordnet sind. Zur Reduzierung von Schwingungen kann man vorzugsweise eine Primzahlanordnung mit z.B. 5, 7 oder 11 Dämpfungsglieder 25 vorsehen.

Die Dämpfungsglieder 25 können einzeln oder auch gemeinsam über nicht dargestellte Stellglieder in radialer Richtung gemäß Pfeile verschoben werden. Wenn man zur Überwachung von auftretenden Schwingungen Schwingungssensoren (nicht dargestellt) einsetzt, so kann man in Echtzeit mit einer entsprechenden Regelung Unwuchten des Werkzeuges, d.h. des Trennkörpers 1, minimieren.

25 Diese Methode ist einem Backenfutter einer Drehmaschine vergleichbar. Die Dämpfungsglieder 25 können jedoch auch gemeinsam gesteuert verschoben werden.

Auch bei dem Ausführungsbeispiel mit der Teilkugelschale 1a als sphärisch gekrümmter Ring mit dem zylindrischen Gehäuse 1b lassen sich die anhand der Figuren 3 bis 6 beschriebenen Dämpfungsmaßnahmen realisieren.

Die Figur 14 zeigt prinzipmäßig den Aufbau einer Vorrichtung für einen Trennkörper 1 gemäß Figur 7. Grundsätzlich ist der Aufbau der Vorrichtung mit der in der Figur 1 beschriebenen Vorrichtung vergleichbar, weshalb für gleiche Teile auch hier gleiche Bezugszeichen beibehalten worden sind. Der wesentliche

Unterschied liegt in der außenseitigen Lagerung des Trennkörpers 1 mit einem zylindrischen Gehäuse 1b über eine Lagerstelle in Form eines Kugellagers 27 gegenüber einem maschinenfesten Teil 28 der Vorrichtung. Die Drehantriebe für die Aufnahme 5 9 durch die Antriebseinrichtung 13 um die Drehachse 12 und für die Aufnahme 8 auf der anderen Seite des Grundkörpers 7 müssen synchron sein. Ebenso muss eine gemeinsame Schwenkbewegung der Aufnahme 8, welche z.B. eine Saugglocke sein kann, die mit Unterdruck betrieben wird, und der Antriebseinrichtung 13 gegeben 10 sein. Die Schwenkachse 5 und die Drehachse 12 müssen deshalb identisch sein. Der Trennkörper 1 rotiert ebenfalls, wobei anstelle des dargestellten Kugellagers 27 selbstverständlich auch ein Gleitlager oder ein Luft- oder Flüssigkeitslager vorgesehen sein kann.

Die Symmetrieachse bzw. Schwenkachse 5 steht bevorzugt zur Schwerkraft parallel oder senkrecht. Anstelle eines herkömmlichen Antriebs für den Trennkörper 1 kann z.B. das zylindrische Gehäuse 1b durch eine direkte Einleitung von elektromagnetischen Kräften angetrieben werden. In diesem Falle ist das zylindrische Gehäuse 1b selbst der Motor, d.h. Rotor oder Stator, nach Art eines Linearmotors. Auf diese Weise werden eingebrachte Schwingungen durch weniger bewegte Bauteile noch stärker reduziert. 25

In Abhängigkeit von dem einzubringenden Radius in den Grundkörper 7 und damit auch des Radiuses der Teilkugelschale 1a wird über einen nicht dargestellten Lenkschlitten die Aufnahme 9 für den Grundkörper 7 und auch die Aufnahme 8 verschoben. 30 Die Längsachse des Grundkörpers 7 befindet sich auf der Schwenkachse 5.

Da die Aufnahme bzw. Lagerung für den Trennkörper 1 selbst eine einzige unveränderliche Anschaffung ist, wird man im allgemeinen über die Aufnahme des Trennkörpers 1 den größten Teil 35 zur Relativbewegung der Schnitte durch einen entsprechenden Antrieb der Aufnahme bringen. Je nach Art der Eingriffsöffnung muss sich dann das Werkstück, nämlich der Grundkörper 7, ent-

weder überhaupt nicht oder nur langsam drehen.

Aus der Figur 15 ist in einer Prinzipdarstellung das Schnittverfahren zum Einbringen eines sphärischen Schnittes in einen Grundkörper 7 mit einer Vorrichtung gemäß Figur 14 ersichtlich. Dabei sind der Umriss des Grundkörpers 7 und der Trennkugelschale 1a im Bereich der Bohrung mit den Schneidelementen 18 zusammen mit einer Schnittkurve 29 im Grundkörper 7 dargestellt. Der Mittelpunkt  $M_1$  des schneidenden Trennkörpers 1 und des Mittelpunktes  $M_2$  des Grundkörpers 7 liegen einseitig zum Schnittereignis. Die Schnittkurve und die Schnittwerkzeuge, nämlich die Schneidelemente 28, liefern Berührungswinkel mit geringer Öffnung, da sich die beiden Kreise tangential treffen, wobei die Krümmungsmittelpunkte deutlich auseinander liegen.

Beim Einbringen des Schnittes wird der Kreis der Schnittkurve 29 immer kleiner, bis er zu 0 wird. Dabei bewegt sich der Grundkörper 7 in Pfeilrichtung 30 nach außen oder der Trennkörper 1 in Pfeilrichtung 31 in entgegengesetzter Richtung, wobei auch beide Bewegungen kombiniert möglich sind.

Die beiden Drehachsen  $M_1$  und  $M_2$  haben einen gemeinsamen Schnittpunkt, der bei der Darstellung gemäß Figur 15 aus der Zeichenebene heraus liegt. Der gemeinsame Schnittpunkt ist der ortsfeste Drehpunkt, um den entweder der Grundkörper 7 oder der Trennkörper 1 verschwenkt wird, um den Trennschnitt durchzuführen.

Die Steigung beim sphärischen Trennen besitzt für die Kurve der Schneidelemente 18 und die Schnittkurve 29 des Werkstückes das gleiche Vorzeichen.

Je nach Art und Größe des Trennkörpers 1 bzw. des Grundkörpers 7 wird man die erforderliche Schwenkbewegung um die Schwenkachse 5 mit dem Mittelpunkt M entweder durch eine entsprechende Verschwenkung des Trennkörpers 1 oder des Grundkörpers 7 durchführen. Bei der Ausgestaltung gemäß Figur 1, bei der sich

die Schneidelemente 18 am Außenumfang des Trennkörpers 1 befinden, wird man - wie dargestellt - den Trennkörper 1 durch den Grundkörper 7 hindurchschwenken. Bei der Ausgestaltung entsprechend den Figuren 7 bis 14, wobei sich die Schneidelemente 18 am inneren Umfang der Teilkugelschale 1a befinden, wird man den Grundkörper 7 auf einem Schwenkglied, entsprechend dem Schwenkglied 3, anordnen und durch den Trennkörper 1 hindurchschwenken.



Patentansprüche:

1. Verfahren zum Herstellen eines optischen Elementes mit wenigstens einer gekrümmten Oberfläche durch sphärisches Trennen aus einem Grundkörper (7) mit einem kalottenartigen Trennkörper (1) mit Schneidelementen (18), wobei der Trennkörper (1) durch den Grundkörper (7) oder der Grundkörper (7) durch den Trennkörper (1) bewegt wird, während gleichzeitig eine relative Rotationsbewegung mit einer Drehachse, die durch den Mittelpunkt (M) der Schwenkbewegung verläuft, zwischen dem Grundkörper (7) und dem Trennkörper (1) stattfindet.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der kalottenartige Trennkörper (1) während des Trennschnittes rotiert.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (7) während des Trennschnittes rotiert.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Grundkörper (7) wenigstens zwei optische Rohlinge (16,17) für das optische Element derart herausgetrennt werden, dass durch einen einzigen Trennschnitt gleichzeitig eine Konkavseite eines ersten optischen Elementes und eine Konvexseite eines zweiten optischen Elementes gebildet wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass als optische Elemente (16,17) Linsen hergestellt werden.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass Linsen (16,17) aus Quarzglas oder aus Kristallen, wie Kalziumfluorid, Bariumfluorid, Magnesiumfluorid oder Lithiumfluorid, für Projektionsobjektive oder Beleuchtungsoptiken in der Mikrolithographie hergestellt werden.

7. Vorrichtung zum Herstellen eines optischen Elementes mit wenigstens einer gekrümmten Oberfläche aus einem Grundkörper (7), mit einem kalottenartigen Trennkörper (1) mit Schneidelementen (18), wobei der Trennkörper (1) oder der Grundkörper (7) um eine Schwenkachse (5) mit einer Krümmung um einen Schwenkpunkt (M) schwenkbar ist, die der Krümmung des in den Grundkörper (7) einzubringenden Trennschnitts entspricht, und wobei der Grundkörper (7) in wenigstens einer Aufnahme (8,9) aufgenommen ist.
8. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Grundkörper (7) um seine Längsachse drehbar in wenigstens einer Aufnahme (8,9) aufgenommen ist.
9. Vorrichtung nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Trennkörper (1) mit einer Antriebseinrichtung (13) versehen ist, mit einer Drehachse (12), die durch den Mittelpunkt (M) der Schwenkbewegung verläuft.
10. Vorrichtung nach Anspruch 7, 8 oder 9, dadurch gekennzeichnet, dass die herzustellenden optischen Elemente Linsen sind, wobei der kalottenartige Trennkörper (1) eine Teilkugelschale (1a) aufweist und wobei aus dem Grundkörper (7) wenigstens zwei optische Rohlinge (16,17) für Linsen derart heraustrennbar sind, dass durch den Trennschnitt gleichzeitig eine Konkavseite einer ersten Linse und eine Konvexseite einer zweiten Linse herstellbar ist.
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Trennkörper (1) eine Teilkugelschale (1a) in wenigstens annähernd Glockenform aufweist, wobei die Schneidelemente (18) am Außenumfang der Teilkugelschale angeordnet sind.
12. Vorrichtung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Trennkörper (1) eine Teilkugelschale (1a) aufweist, die im Bereich der Schwenkachse (5) des Trennkörpers (1) mit einer Bohrung versehen ist, in der der Grundkörper (7) mit

seinen Aufnahme (8,9) aufnehmbar ist, und dass die Teilkugelschale (1a) an ihrer äußeren Umfangswand über eine Halteeinrichtung (23) an dem Trennkörper (1) gehalten ist, wobei die Schneidelemente (18) am Innenumfang der Teilkugelschale (1a) angeordnet sind.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Halteeinrichtung für die Teilkugelschale (1a) eine Spanneinrichtung (23) aufweist, über die die Teilkugelschale (1a) lösbar mit dem Trennkörper (1) verbunden ist.

14. Vorrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass der Bereich des Trennkörpers, mit welchem die Teilkugelschale (1a) über die Spanneinrichtung (23) verbunden ist, wenigstens annähernd als zylindrisches Gehäuse (1b) ausgebildet ist.

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass sich das zylindrische Gehäuse (1b) über ein Drehlager (27) an einer maschinenfesten Einrichtung (28) abstützt.

16. Vorrichtung nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, dass das zylindrische Gehäuse (1b) mit Dämpfungsgliedern (24) versehen ist.

17. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Teilkugelschale (1a) mit Dämpfungsgliedern (25) versehen sind.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass ein oder mehrere Dämpfungsglieder (25) in die Teilkugelschale (1a) integriert oder mit dieser verbunden sind.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Dämpfungsglieder (25) auf ein oder auf beiden Seiten der Teilkugelschale (1a) angeordnet sind.

20. Vorrichtung nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass

die Dämpfungsglieder (25) in radialer Richtung verschiebbar an der Teilkugelschale (1a) angeordnet sind.

21. Vorrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass  
5 die Dämpfungsglieder (25) einzeln gesteuert oder geregelt über Sensoren, die Schwingungen der Teilkugelschale (1a) aufnehmen, verschiebbar sind.
22. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass  
10 der Grundkörper (7) an beiden Enden pneumatisch, mechanisch, hydraulisch oder magnetisch in Aufnahmen (8,9) aufgenommen ist.
23. Vorrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass  
eine der beiden Aufnahmen (9) mit einer Drehantriebseinrichtung (2) und die andere Aufnahme (8) mit einer Mitläuferereinrichtung (15) versehen ist.
24. Vorrichtung nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet,  
20 dass die Aufnahmen (8,9) in Richtung der Drehachse (12), die durch den Mittelpunkt (M) der Schwenkbewegung verläuft, verschiebbar sind.
25. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass  
25 der Grundkörper (7) in der wenigstens einen Aufnahme (8,9) in dem gespannten Zustand während des Trennschnittes unter einer axialen Zugkraft steht.
26. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass  
30 der Trennkörper (1) mit seinen am Umfang des Trennkörpers (1) angeordneten Schneidelementen (18) einen schwingungsdämpfenden Aufbau besitzt.
27. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass  
35 der Trennkörper (1) zwei- oder mehrteilig ist.
28. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Trennkörper (1) auf wenigstens einer seiner Oberflächen

mit Vertiefungen (20) versehen ist.

29. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefungen (20) als Rillen ausgebildet sind.

5

30. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Vertiefungen den Trennkörper (1) vollständig durchtrennen.

10 31. Vorrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Rillen (20) unregelmäßig über den Trennkörper (1) verteilt sind.

15 32. Vorrichtung nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass die Rillen (20) zum Transport von Spülflüssigkeit zu den Schneidelementen (18) vorgesehen sind.

20 33. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneidelemente (18) unregelmäßig an dem Trennkörper (1) angeordnet sind.

25 34. Vorrichtung nach Anspruch 7, gekennzeichnet, zur Herstellung von Linsen für Projektionsoptiken und Beleuchtungsoptiken in der Mikrolithographie.

30 35. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneidelemente (18) im Querschnitt keilförmig ausgebildet sind, wobei sich die breitere Seite des Keiles außenseitig befindet.

30

36. Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Trennkörper (1) in seiner Umfangswand mit Aussparungen oder Bohrungen (22) versehen ist.

35

Zusammenfassung:

Verfahren und Vorrichtung zum Herstellen von optischen Elementen mit wenigstens einer gekrümmten Oberfläche

5 (Figur 1)

Bei einem Verfahren zum Herstellen eines optischen Elementes (16,17) mit wenigstens einer gekrümmten Oberfläche durch sphärisches Trennen, wird ein kalottenartiger Trennkörper (1) mit  
10 Schneidelementen (18) verwendet. Der Trennkörper (1) wird dabei in einer Schwenkbewegung durch einen Grundkörper (7) oder der Grundkörper (7) durch den Trennkörper (1) bewegt, wobei eine relative Rotationsbewegung mit einer Drehachse, die durch den Mittelpunkt (M) der Schwenkbewegung verläuft, zwischen dem  
15 Grundkörper (7) und dem Trennkörper (1) stattfindet.

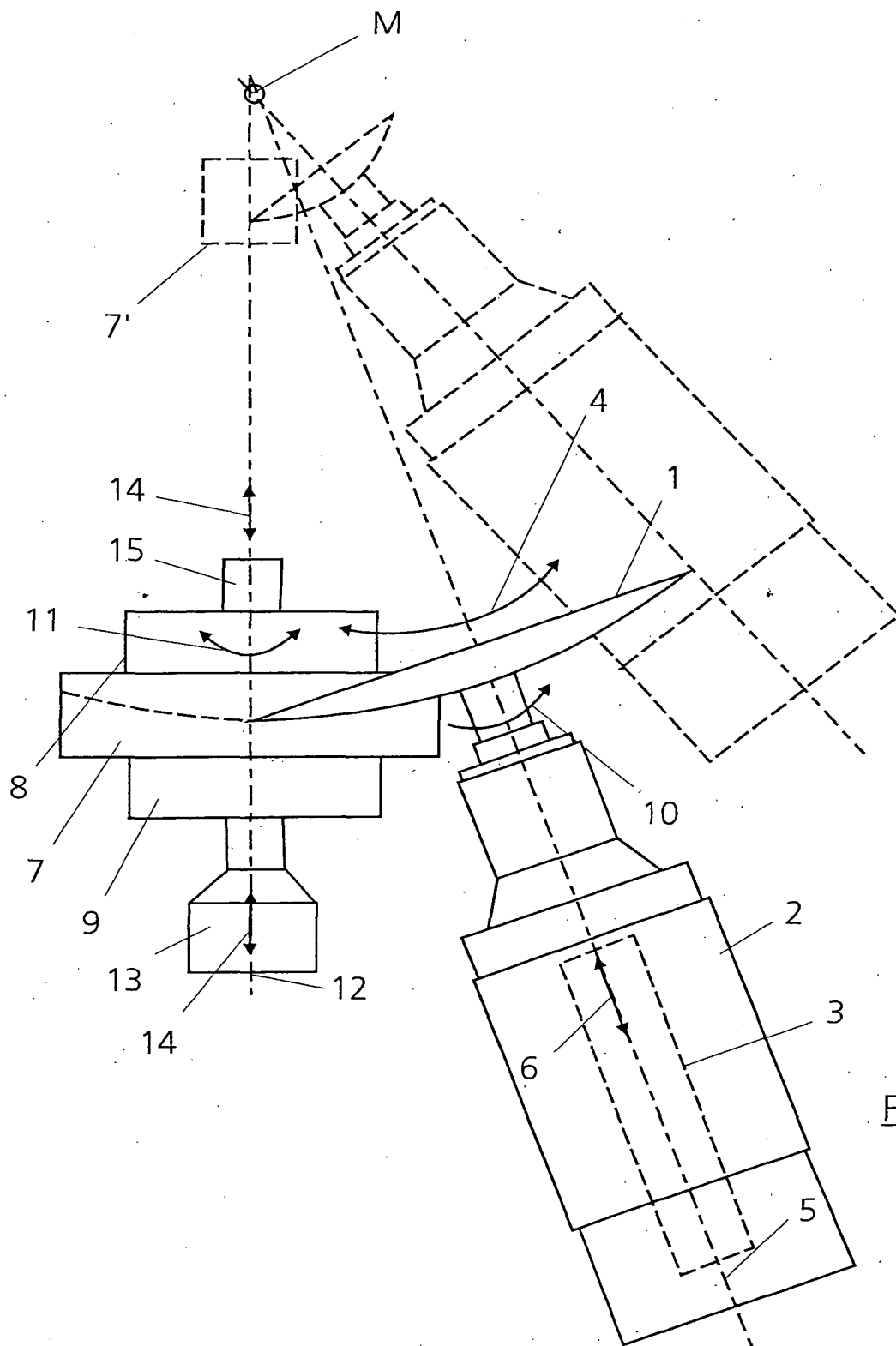
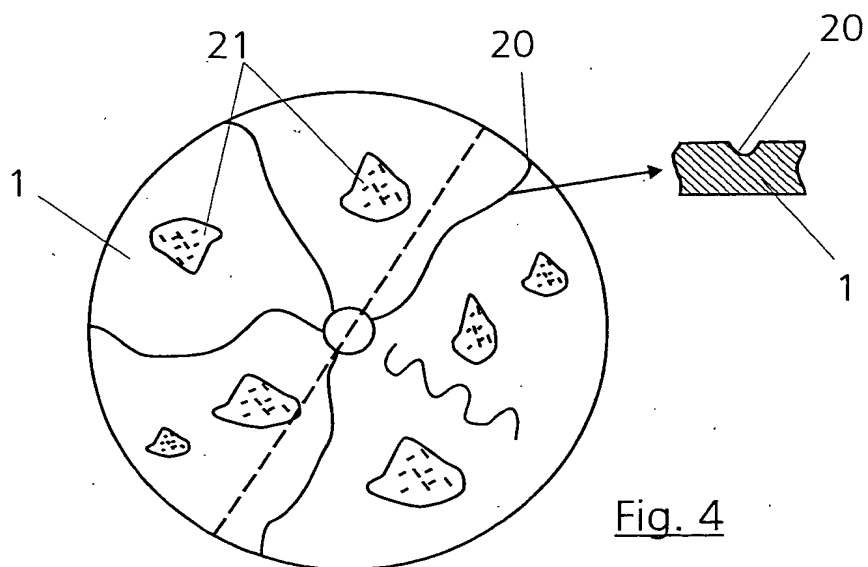
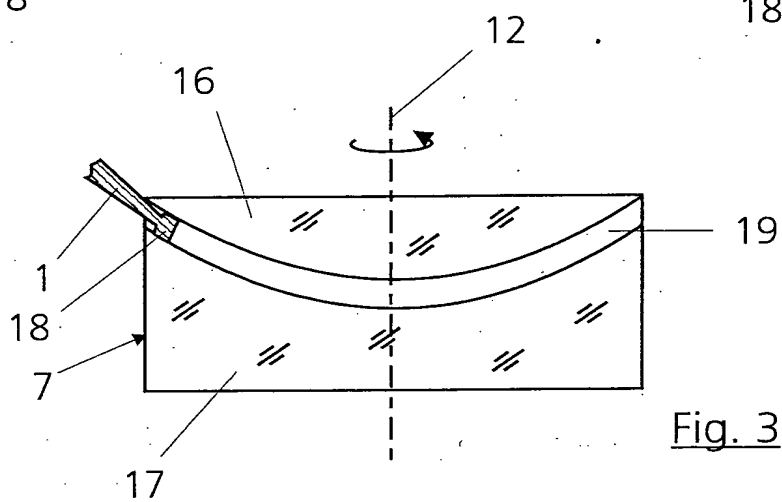
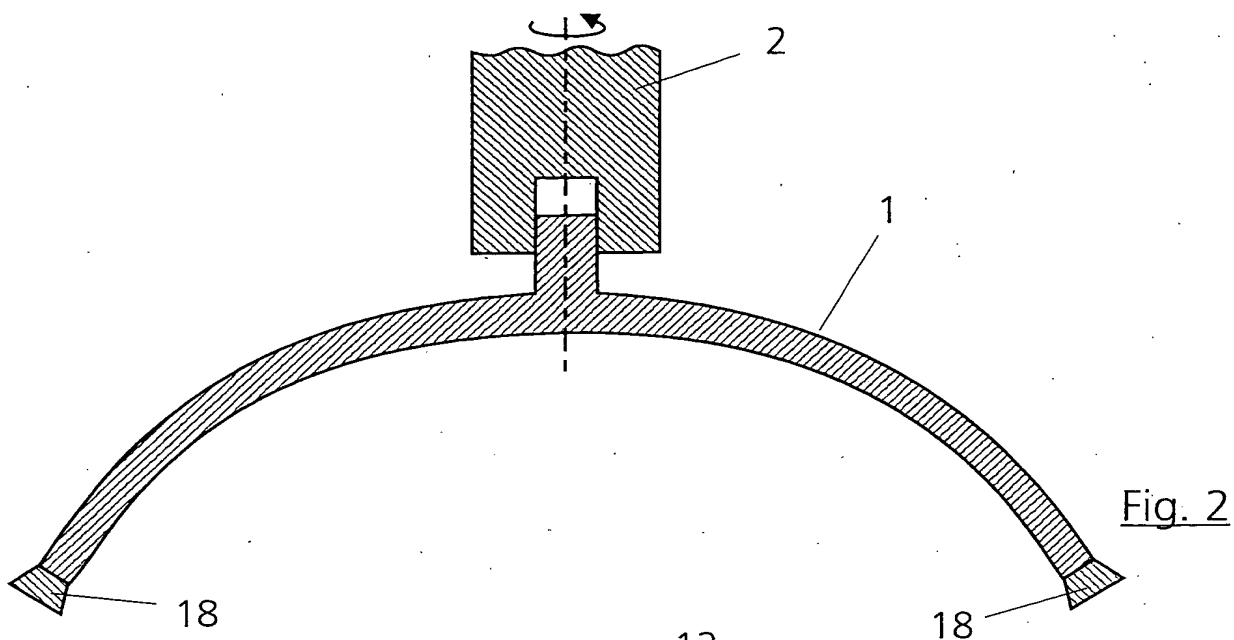
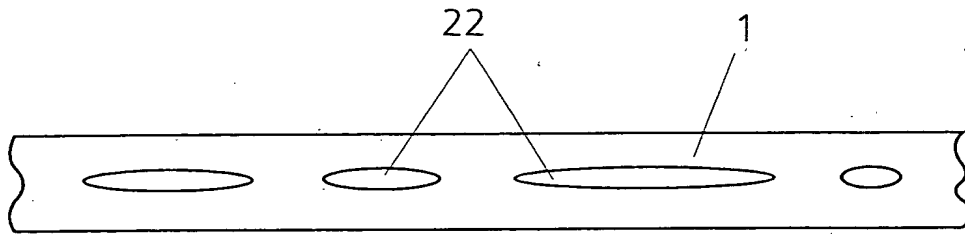
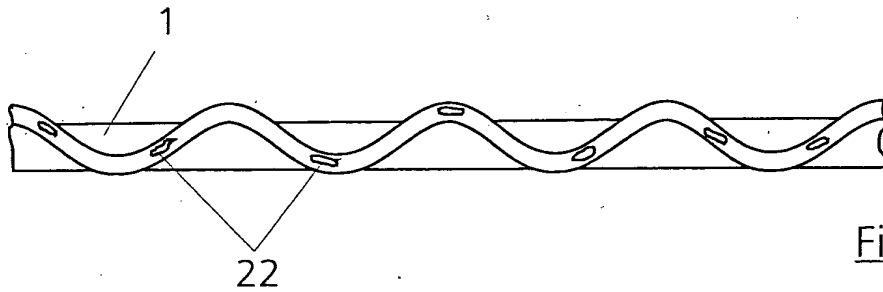
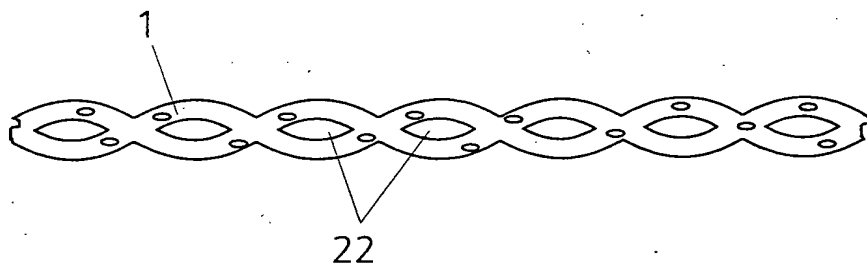
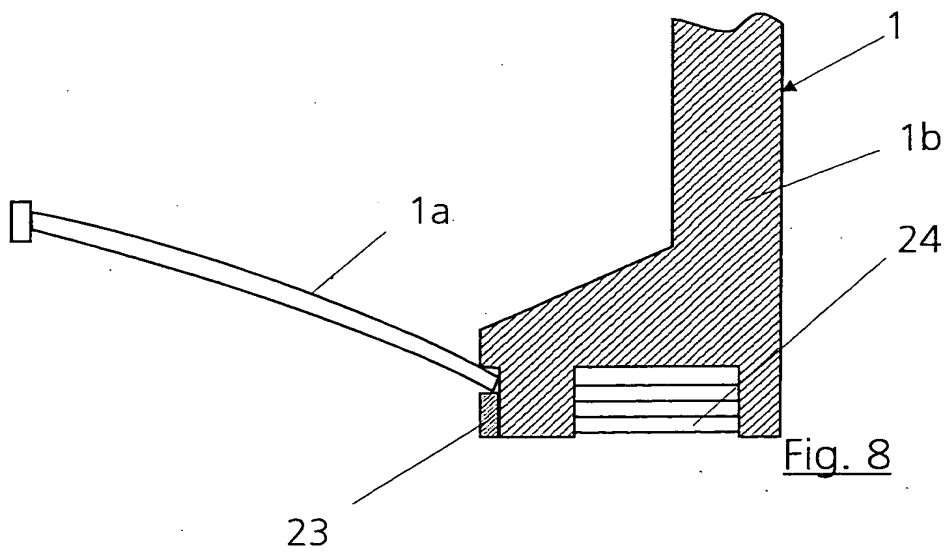
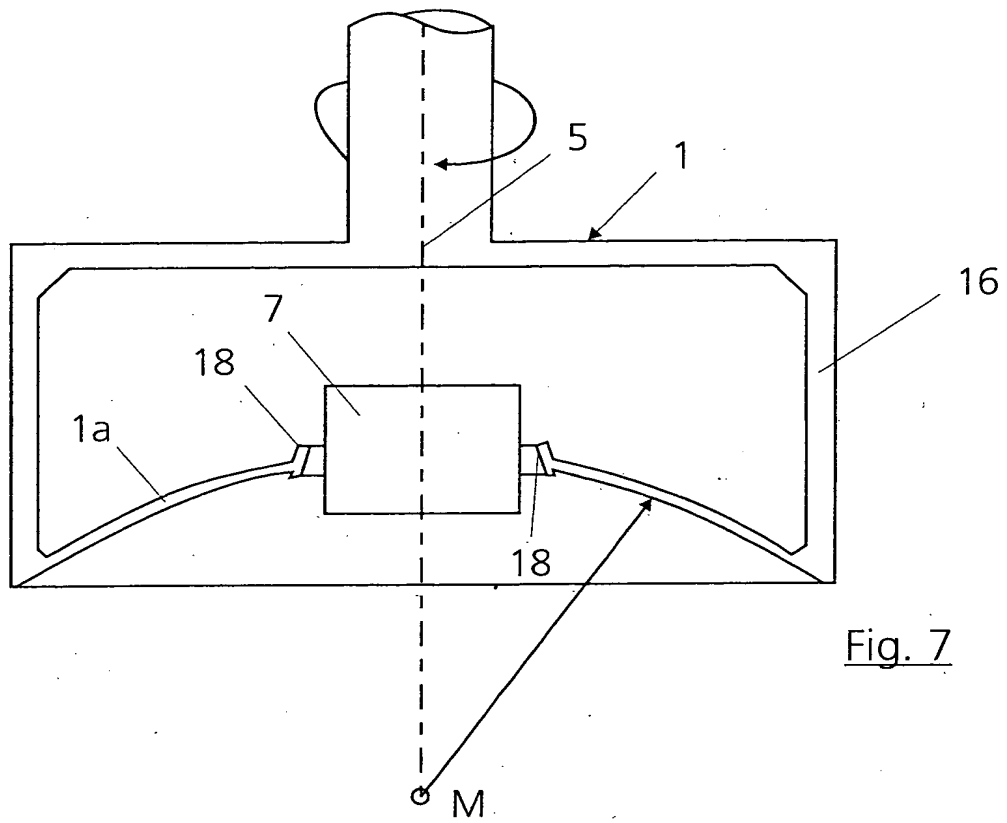


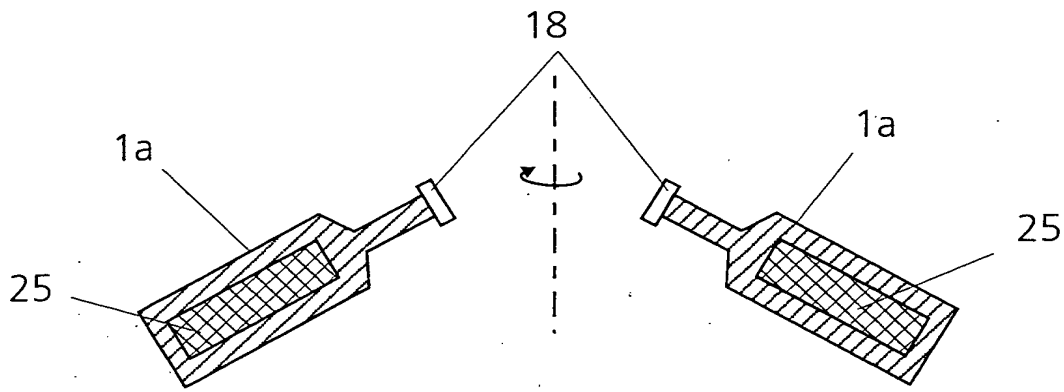
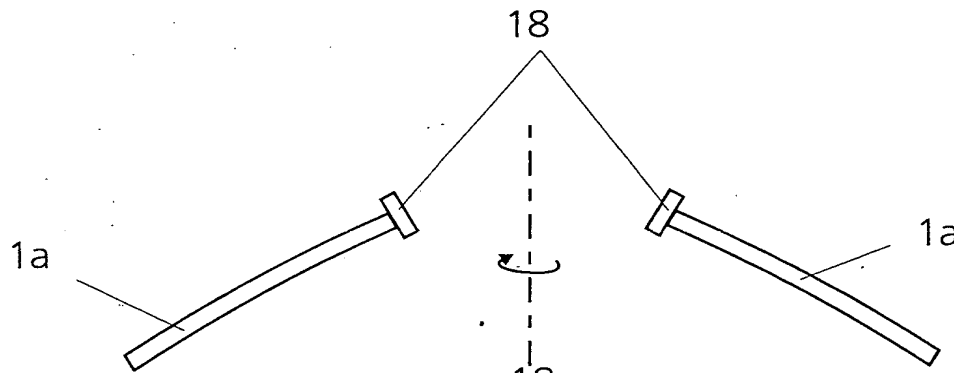
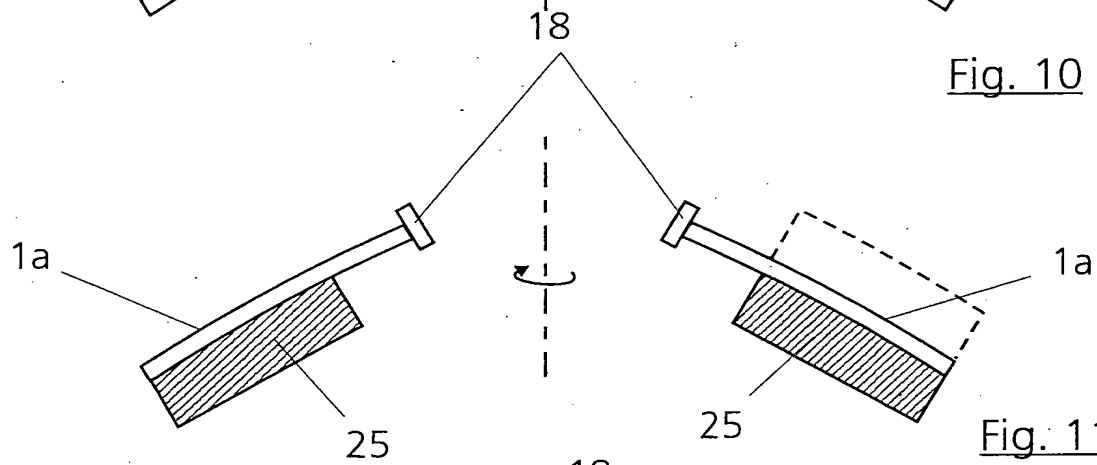
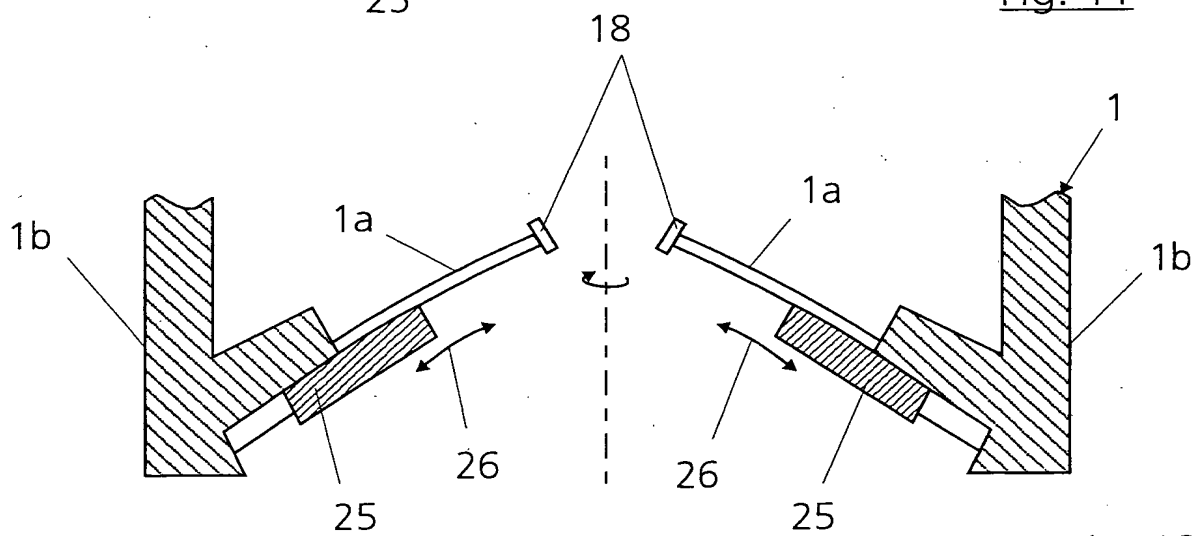
Fig. 1





Fig. 5Fig. 6aFig. 6b



Fig. 9Fig. 10Fig. 11Fig. 12

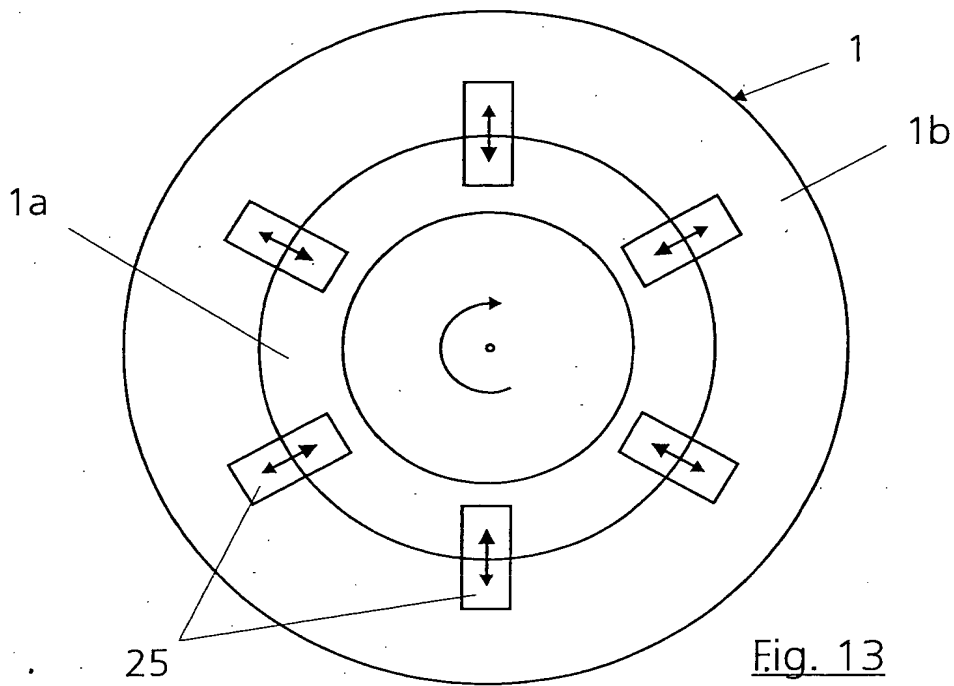


Fig. 13

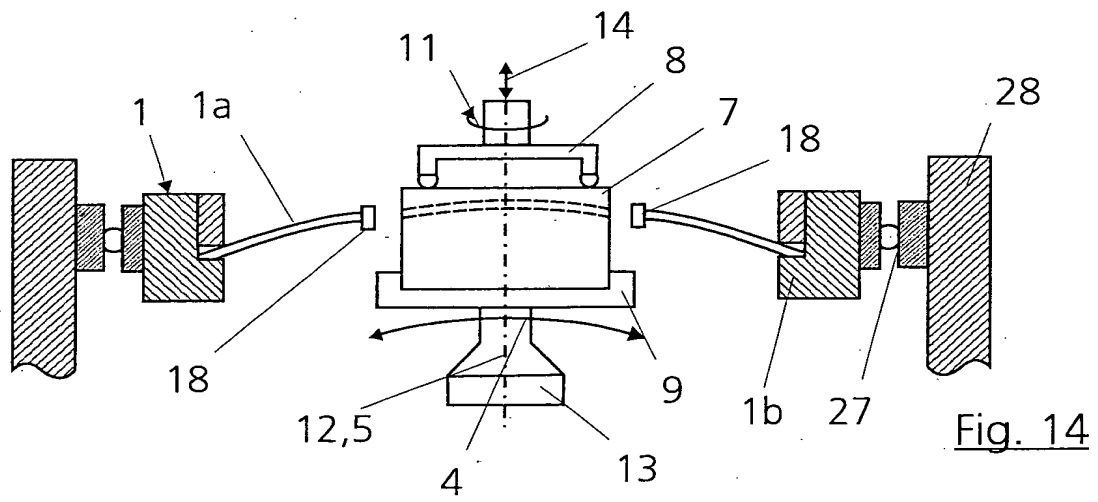


Fig. 14

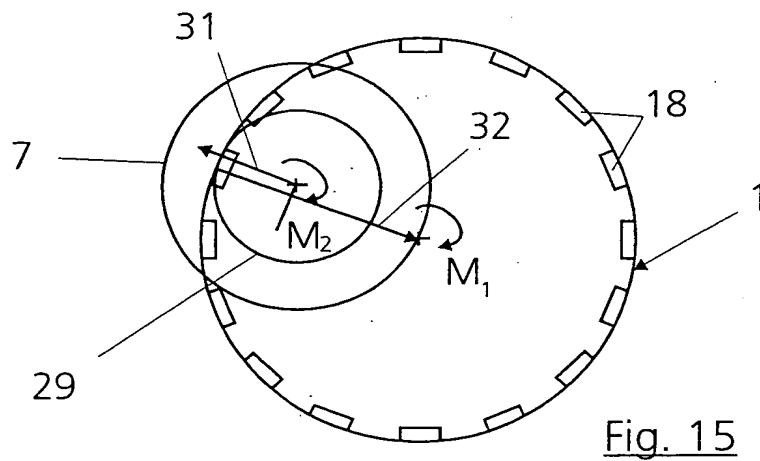


Fig. 15